

УДК 664:002.5; 664.02

Р.Д. Іскович-Лотоцький д-р техн.наук, І.В. Севостьянов канд.техн.наук  
Вінницький національний технічний університет (ВНТУ) м.Вінниця, Україна

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ СЕПАРУВАННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

*Разработана классификация известных методов, способов и оборудования для сепарирования влажных дисперсных материалов. Выполнен их сравнительный анализ и установлена высокая эффективность способа виброударного сепарирования на вибропрессовых установках с гидроимпульсным приводом. Разработана схема поточного технологического комплекса для сепарирования влажных дисперсных материалов.*

*The categorization of the known methods, ways and equipment for separation of damp dispersible materials is designed. Their benchmark analysis is executed and high efficiency of the way vibro-blowing separation on vibro-pressing plants with a hydraulic-pulse drive is installed. The scheme of the production technological complex for the separation of damp dispersible materials is designed.*

Останнім часом, особливо у зв'язку із глобальною економічною кризою, все більшої актуальності набувають задачі впровадження у різних галузях безвідходних технологічних процесів, реалізація яких дозволяє більш раціонально використовувати сировину, матеріали та енергоносії, отримувати додатковий прибуток та зменшувати негативний вплив на людину і навколишнє середовище. До таких безвідходних технологій відносяться процеси сепарування вологих дисперсних матеріалів, в тому числі спиртової барди, пивної дробини, буякового жому, фруктової макухи, що є вторинними продуктами відповідних виробництв і які після видалення з них вологої фракції можуть ефективно застосовуватись в якості цінних добавок до сільськогосподарських кормів.

На даний момент відомо багато способів сепарування твердої та рідинної фракцій вологих дисперсних матеріалів, що застосовуються в різних галузях промисловості і мають різну продуктивність та енергоємність, у зв'язку із чим представляється доцільним укладання класифікації даних способів та обладнання для їх здійснення, а також проведення порівняльного аналізу способів з метою виявлення серед них найбільш ефективного для здійснення сепарування вказаних вище вторинних продуктів.

На рис. 1 представлена така класифікація, згідно із якою на даний момент використовується п'ять методів сепарування: механічний, електричний, термічний, хімічний та біологічний, при цьому два останні є по суті комбінованими методами, оскільки під час їх реалізації застосовуються також механічний і термічний методи.

Механічні статичні способи сепарування, такі як відстоювання і періодичне пресування (здійснюються відповідно на стікачах і пресах періодичної дії з приводами різних типів) – є малопродуктивними і тому непридатними в умовах потокового виробництва підприємств харчової промисловості [1].

Безперервне статичне пресування, особливо при здійсненні його на шнекових пресах, є досить продуктивним; самі преси відрізняються простотою конструкції та високою надійністю.

Однак для забезпечення ефективної роботи даного обладнання потрібно ретельно розраховувати та підбирати оптимальні конструктивні параметри його елементів, особливо – геометрію шнека. Під час сепарування вологих дисперсних матеріалів на шнекових пресах мають місце значні втрати енергії на тертя в робочій камері, при цьому зменшити вказане тертя без зниження продуктивності преса неможливо [1].

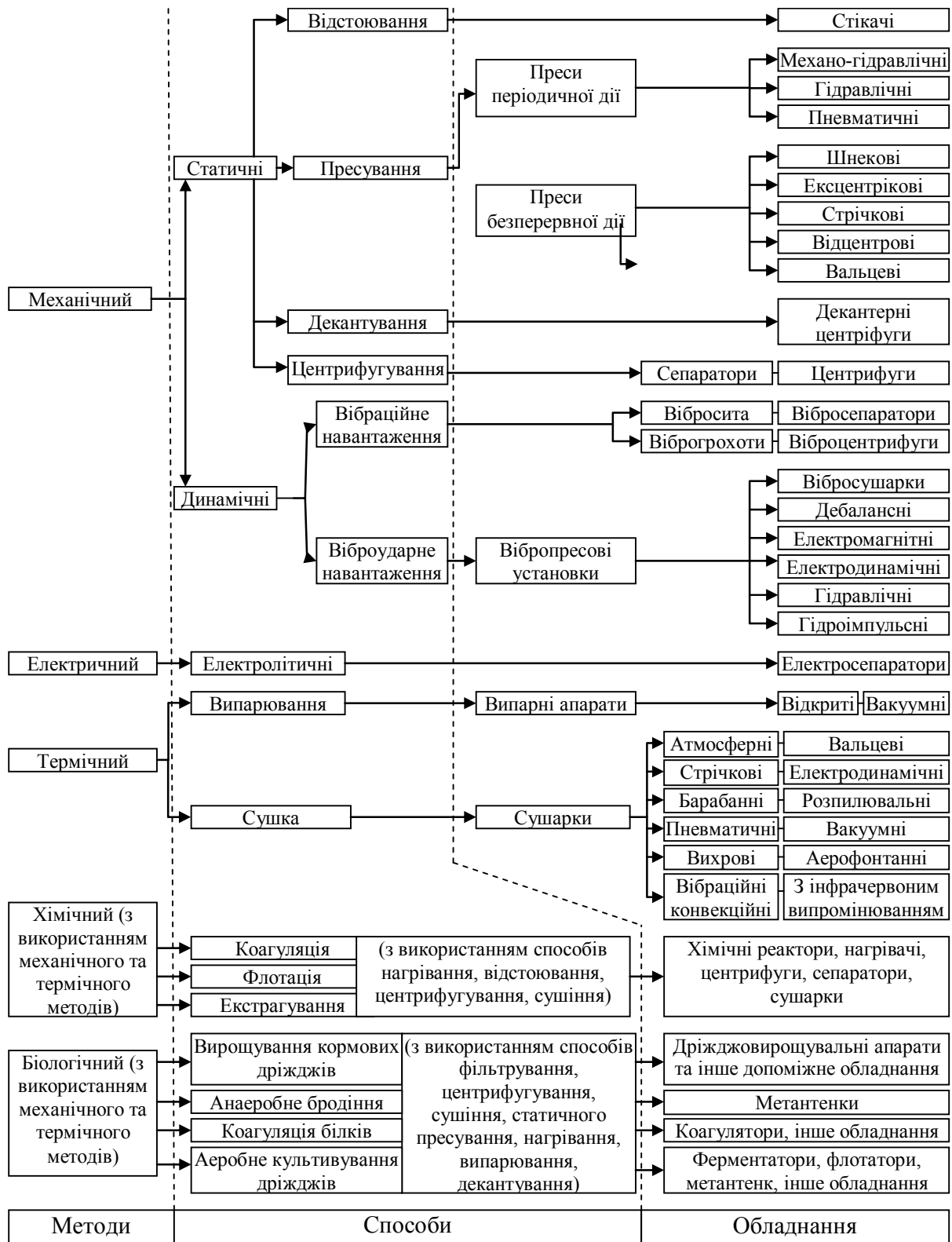


Рис. 1 Методи, способи та обладнання для сепарування вологих дисперсних матеріалів

Виконавчий елемент – шнек є нетехнологічним у виготовленні і швидко зношується. До цього ж розглядуване обладнання є складним в експлуатації та обслуговуванні, потребує точного дотримання оптимального режиму сепарування. Шнекові преси не забезпечують достатньо повного зневоднення

продукту і можуть використовуватись тільки для попереднього сепарування його рідинної та твердої фракцій [1].

Більш продуктивними і зручними в експлуатації є декантерні центрифуги [2]. Після проходження через декантер вологість концентрату оброблюваного матеріалу складає 70 – 75%, у зв'язку із чим, його додатково потрібно піддавати сушінню. Крім цього, декантери відрізняються значною конструктивною складністю, матеріало- та енергоємністю.

Найбільш ефективними серед відомих способів сепарування вологих дисперсних матеріалів за сукупністю таких показників, як забезпечувані кінцева вологість продукту та продуктивність процесу, витрати енергії на його реалізацію, конструктивна складність, матеріалоємність та вартість використовуваного обладнання і оснащення, є динамічні механічні способи: вібраційного [3] та віброударного [4] навантаження.

Як установлено в роботі [3], при використанні статичних механічних способів сепарування вологих дисперсних матеріалів, навіть у випадках дотримання оптимальних режимів їх реалізації, забезпечуються лише місцеві руйнування початкової структури продукту, тоді як для досягнення достатньо високої об'ємної однорідності, а отже й максимально повного витискання з проміжків між твердими частинками рідини, потрібно створити умови для граничного руйнування структури. Такі умови можуть бути створені у випадку використання динамічних механічних способів, що правда ефективність вібраційного навантаження значною мірою обумовлена тим, що перед його реалізацією у продукт попередньо додаються поверхнево активні речовини [3], наявність яких забезпечує зменшення сил зчеплення між частинками.

При здійсненні на сепарований продукт вібраційних впливів він може перейти у певний оптимальний динамічний стан [5], в якому зв'язки між твердими частинками порушуються практично до будь-якого регульованого рівня, значення в'язкості та напружень зсуву матеріалу зменшуються до мінімуму, відбувається його псевдозрідження або псевдокипіння. В результаті, пружно-в'язко-пластичні та в'язко-пластичні системи перетворюються у ньютонівські рідини [3], забезпечується значне зменшення тривалості та енергоємності процесу сепарування (у порівнянні із значеннями відповідних параметрів при використанні статичних способів), помітно спрощується його аналіз.

Істотним недоліком способу вібраційного навантаження у порівнянні із способом віброударного навантаження є те, що під час його використання для збереження інтенсивності процесу волого відокремлення в часі потрібно постійно змінювати параметри режиму згідно із зміною фізико-механічних характеристик оброблюваного продукту. Отже для реалізації даного способу потрібне досить потужне обладнання, оснащене пристроєм контролю та керування режимом навантаження. В інших випадках доводиться розділювати процес вібраційного сепарування на ряд послідовних стадій, кожна з яких здійснюється на окремій установці, що призводить до дорожчання обладнання, а також збільшення витрат часу та енергії на здійснення процесу. Щодо віброударного навантаження, то при його реалізації в кожному імпульсі зовнішніх сил, діючих з боку виконавчих елементів на частинки порції, містяться складові у вигляді пакету моногармонійних синусоїдальних хвиль з діапазоном кутових частот, до якого у будь-який момент процесу сепарування, незалежно від вихідних та поточних величин фізико-механічних параметрів матеріалу, гарантовано потраплятимуть власні кутові частоти частинок основи [4]. В результаті останні приводитимуться у коливальний рух в області резонансу, що забезпечить їх високопродуктивне ущільнення, а отже й швидке видалення з продукту вологи.

Значним недоліком вібромашин, що в більшості випадків оснащуються дебалансним приводом [3], є взаємна залежність основних параметрів навантаження – частоти і амплітуди коливань виконавчого елемента, - що не дозволяє здійснювати їх окреме регулювання і призводить до необхідності надмірного збільшення потужності обладнання для забезпечення достатнього діапазону режимів його роботи. В свою чергу, для потужних, працюючих в широкому діапазоні режимів віброустановок, потрібно передбачати ефективну, а отже й дорожу систему віброізоляції від ґрунту. Крім цього, спосіб вібраційного навантаження, як і попередній розглядуваний спосіб, не забезпечує заданої кінцевої вологості концентрату продукту.

Автори статті на підставі результатів, проведених теоретичних та експериментальних досліджень [6], вважають, що для здійснення процесів сепарування вологих дисперсних матеріалів найбільш ефективно застосовувати спосіб віброударного навантаження на вібропресових установках з гідроімпульсним приводом (ГП) [4], який також відноситься до динамічних механічних способів.

На відміну від дебалансних приводів, в ГП передбачена можливість роздільного регулювання в широких межах амплітуди і частоти імпульсів навантаження, а також реалізації переміщень виконавчих елементів з прискореннями (8 – 10)g [4], що значно більше величин прискорень, які можуть бути забезпечені на виконавчих елементах віброустановок. Остання обставина має важливе значення, тому що тільки при переміщеннях частинок продукту з прискореннями в декілька разів більшими g він може бути переведений у стан віброзрідження та віброкипіння для максимальної інтенсифікації процесу сепарування [3].

Спосіб електросепарування [1] у зв'язку із його порівняно високою енергоємністю і низькою продуктивністю, можна рекомендувати в основному для очищення у невеликих кількостях первинних продуктів харчових виробництв.

Серед найбільш поширених способів термічної групи слід згадати випарювання під вакуумом [1], використання якого дозволяє зберегти натуральні властивості продукту, а також підтримувати необхідний температурний перепад при нижчому, ніж у випадку відкритого випарювання тиску [1]. Однак для реалізації сепарування під вакуумом потрібне складне, громіздке і дороге обладнання (багатокорпусні установки з конденсаційними пристроями та контрольними приладами), експлуатаційні витрати якого (води, електроенергії), а також вартість ремонту і обслуговування – є досить значними.

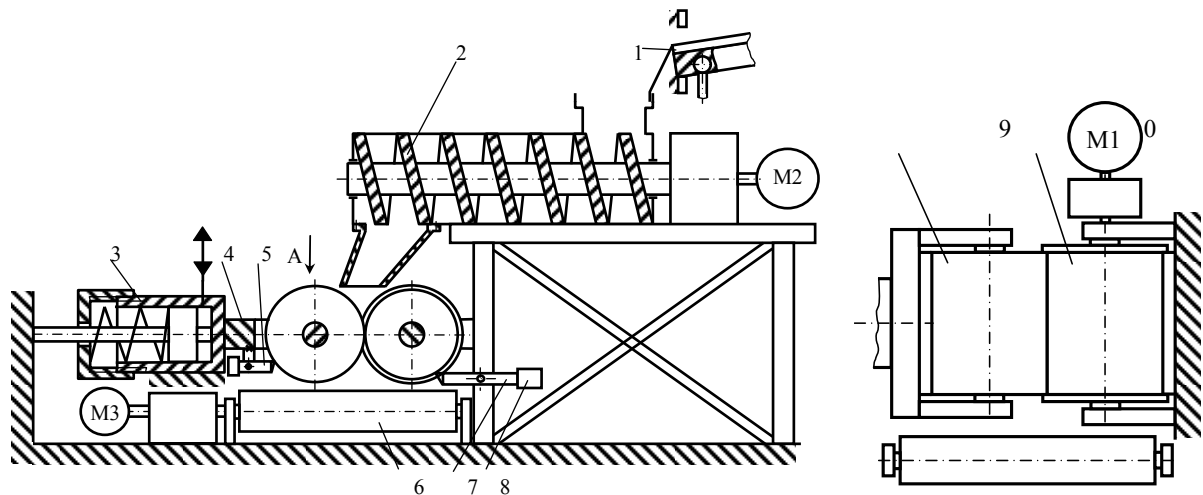
Способи сушки використовуються для остаточного відокремлення вологої фракції від твердої, тому перед ними реалізується механічне, електричне, хімічне або біологічне сепарування продукту. Найбільш придатними для перероблювання розглядуваних у статті матеріалів є вальцові, розпилювальні, вихрові, аерофонтанні сушарки, а також багатостадійні сушильні установки комбінованих типів [1].

Розпилювальні сушарки є більш енергоємними і менш продуктивними, ніж вальцеві, однак продукт, що через них проходить, частково налипає на внутрішніх поверхнях камери, частково уноситься разом з повітрям назовні [1]. Вихрові та аерофонтанні сушарки відрізняються складністю конструкції та значними габаритами. Установки комбінованих типів для дво- та тристадійної сушки є більш економічними, ніж, наприклад, чисто розпилювальні сушарки [7]. Однак використання їх з метою зневоднення вторинних продуктів є в більшості випадків недоцільним, до цього ж дані установки є досить складними і дорогими. В цілому сушарки у порівнянні із обладнанням для реалізації інших способів сепарування є найбільш енергоємними та складними в експлуатації.

Реалізація хімічних технологій перероблення вторинних продуктів передбачає додавання до них різних реактивів (сірчаної кислоти або екстрагентів), нагрівання або кип'ятіння одержаної суспензії та видалення твердої фракції шляхом відстоювання або центрифугування. Наприклад, перевагами екстрагування є порівняно низькі робочі температури, висока рентабельність, простота використання обладнання, можливість його автоматизації. Недоліки екстрагування, як й інших хімічних способів це: неможливість в ряді випадків повного видалення екстрагента з продукту при одностадійному перероблюванні, у зв'язку із чим доводиться здійснювати багатостадійне змішування взаємодіючих фаз під час їх зустрічного руху [8].

Біологічні способи на даний момент отримали значне поширення, але поки що практично тільки на Заході, у зв'язку із високою конструктивною складністю та дорожнечою використовуваного обладнання. Останнє являє собою великогабаритні, матеріало- та енергоємні технологічні комплекси [9], що залежно від здійснюваного на них способу сепарування включають: дріжджовирощувальні апарати, метантенки, коагулятори, ферментатори, флотатори; допоміжне обладнання – сепаратори, теплообмінники, змішувачі, збірники-стерилізатори, фільтри, деемульгатори, плазмолізатори, сушарки, декантерні центрифуги, а також велику кількість пристроїв і приладів для контролю та керування. Суть більшості біологічних способів оснований на вирощуванні на основі біоскладових продукту кормових дріжджів та кормоконцентратів. Для прискорення процесу у продукт додають ферменти, засівні мікроорганізми,

анаеробні бактерії, розчини солей, кислот або мелясне сусло. Одержав також певне поширення спосіб перероблення спиртової барди на біогаз [10]. В цілому способи біологічного сепарування мають порівняно низьку продуктивність, що обумовлена, зокрема, значною тривалістю (до 6 місяців) виходу установок у робочий режим. Самі біореактори потребують періодичного та трудомісткого догляду та обслуговування; для виготовлення їх елементів застосовуються в основному високолеговані сталі, бронза, латунь, алюміній та інші дорогі матеріали. До цього ж, реалізація процесів біологічного сепарування вимагає значних витрат електроенергії, води, стисненого повітря, хімікатів, біодобавок.



**Рис. 2 Конструктивна схема потокового технологічного комплексу для сепарування вологих дисперсних матеріалів на базі вальцевого преса з ГПП та шнекового преса**

Таким чином, аналіз відомих способів сепарування вологих дисперсних матеріалів, показує, що найбільш ефективним серед них за такими важливими показниками як, продуктивність, енергоємність, забезпечувана кінцева вологість концентрату продукту, конструктивна складність, матеріалоємність, вартість та легкість експлуатації використовуваного обладнання, є спосіб віброударного навантаження при реалізації його на вібропресових установках з ГПП. Вказаний спосіб може застосовуватись як для попереднього, так і для остаточного сепарування розглядуваних вторинних продуктів. Проведені за допомогою вібропреса ІВІМ-16 [4] досліді, показали, що при здійсненні тристадійного віброударного навантаження порцій спиртової барди та пивної дробини і зменшенні товщини оброблюваного матеріалу, його кінцева вологість не перевищує 20%.

На рис. 2 показана схема потокового технологічного комплексу для сепарування вологих дисперсних матеріалів. Перероблюваний продукт після попереднього зневоднення на віброситі 1 з ГПП та шнековому пресі 2, подається в зазор між ведучим 10 та веденим 9 вальцями, які повільно обертаються. Крім цього, валець 9 періодично підтискається до вальця 10 із заданою частотою та амплітудою, що визначаються настройками ГПП. Вказані навантаження передаються через вилку 4, при збільшенні тиску робочої рідини у поршневій порожнині гідроциліндра 3 ГПП і зміщенні його корпуса відносно нерухомих поршня зі штоком праворуч за схемою. На етапах падіння тиску в гідросистемі ГПП корпус 3, а з ним і валець 9 під дією стисненої пружини у штоковій порожнині гідроциліндра повертаються у вихідне ліве положення. В результаті продукт затягується в зазор між вальцями де він піддається статичному та віброударному навантаженню. Витиснена з продукту волога проходить через дрібні отвори у вальцях, закритих металевою сіткою. Далі з порожнин вальців вона стікає по трубках у контейнер-збірник. Віджатий концентрат зрізається з поверхонь вальців ножами 5, 7 відповідної ширини, які підтискаються до вальців за допомогою вантажів 8. Відокремлений таким чином концентрат, скидається на стрічковий конвеєр 6, на якому він транспортується до контейнера.

### Висновки

1. На даний момент відомі п'ять методів сепарування вологих дисперсних матеріалів: механічний, електричний, термічний, хімічний та біологічний, - кожен з яких може бути реалізований за допомогою того чи іншого способу та обладнання різних типів і видів.

2. Аналіз відомих механічних способів показав, що останні відрізняються порівняно низькою енергоємністю, але більшість з них не забезпечує достатньої продуктивності процесу сепарування та заданої кінцевої вологості продукту. Способи електросепарування через високу енергоємність та низьку продуктивність не можуть бути ефективно застосовані для потокового сепарування вторинних продуктів. Термічні способи відрізняються найбільшою енергоємністю і реалізуються тільки після попереднього сепарування вологих дисперсних матеріалів; обладнання для їх здійснення є великогабаритним та складним за конструкцією. Хімічні та біологічні способи доцільно застосовувати тільки у комбінації зі способами інших груп. Слід відзначити складність, багато стадійність і значну енергоємність процесів хімічного та біологічного сепарування; матеріалоемність та високу вартість, використовуваного для їх реалізації обладнання.

3. За основними показниками порівняння – продуктивністю, енергоємністю, забезпечуваною кінцевою вологістю продукту, матеріалоемністю та простотою конструкції обладнання, найбільш ефективним способом сепарування вологих дисперсних матеріалів є спосіб віброударного навантаження, що здійснюється на вібропресових установках з ГПП.

### Список літератури

1. Дикис М. Я., Мальский А. Н. Технологическое оборудование консервных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 777 с.
2. Зигелер Г. Принципы декантерной технологии// Учебный материал по декантерной технологии. Изучение продукции. – Коммерческая служба отделения технологии сепарации. – 94 с.
3. Гончаревич И. Ф., Урьев И. Б., Талейсник М. А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 279 с.
4. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.
5. Быховский И. И. Основы теории вибрационной техники. -М.: Машгиз, 1969. -363 с.
6. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В. Розрахунок параметрів вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для зневоднення вторинних продуктів переробних та харчових виробництв// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №3 (109), 2007. – Ч. 1. – С. 105 – 108.
7. Харитонов В. Д., Базилов В. И., Крылов А. И., Зубков И. В. Новое оборудование для сушки молока/ [http://www.consit.ru/st\\_moloko\\_001.shtml](http://www.consit.ru/st_moloko_001.shtml) .
8. Лабораторный практикум по курсу "Процессы и аппараты" Г. И. Николаев, В. Г. Блекус, Г. Ж. Ухеев и др.: Учебное пособие. - Улан-Удэ: ИПЦ ВСГТУ, 2001. – 61 с.
9. Бачурин П. Я., Устинников Б. А. Оборудование для производства спирта и спиртпродуктов, 1985. – 343 с.
10. Сравнение технологий переработки барды// <http://www.spbarda.ru/pages/compare>